

Verfahren zur Messung von Drehraten/Beschleunigungen unter Verwendung eines Drehraten-Corioliskreisels sowie dafür geeigneter Corioliskreisel

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Messung von Beschleunigungen unter Verwendung eines Drehraten-Corioliskreisels sowie einen dafür geeigneten Corioliskreisel.

5 Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Jedes Massensystem hat in der Regel eine Vielzahl von Schwingungsmoden, die zunächst voneinander unabhängig sind. Zum Betrieb
10 des Corioliskreisels wird ein bestimmter Schwingungsmodus des Massensystems künstlich angeregt, der im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Wenn der Corioliskreisel gedreht wird, treten Corioliskräfte auf, die der Anregungsschwingung des Massensystems Energie entnehmen und damit einen weiteren Schwingungsmodus des Massensystems, der im Folgenden als
15 "Ausleseschwingung" bezeichnet wird, übertragen. Um Drehungen des Corioliskreisels zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Ausleseschwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisels darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als
20 Open-Loop-System als auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise Null – rückgestellt, und die Rückstellkräfte gemessen.

25 Das Massensystem des Corioliskreisels (das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird) kann hierbei unterschiedlichst ausgestaltet sein. Beispielsweise ist es möglich, ein einstückig ausgebildetes Massensystem zu verwenden. Alternativ ist es möglich, das Massensystem in zwei Schwinger aufzuteilen, die miteinander über ein Federsystem gekoppelt sind und Relativbewegungen
30 zueinander ausführen können. Hohe Messgenauigkeiten können insbesondere mit linearen Doppelschwingersystemen erzielt werden, die aus einem gekoppelten System aus zwei linearen Schwingern bestehen. In Doppelschwingersystemen ist das Federsystem, das die beiden linearen Schwinger miteinander koppelt, im Allgemeinen so ausgestaltet, dass beide lineare Schwinger entlang einer ersten
35 Schwingachsachse zu Schwingungen angeregt werden können, wobei der zweite Swinger zusätzlich Schwingungen entlang einer zweiten Schwingachsachse ausführen kann, die senkrecht auf der ersten Schwingachsachse steht. Die Bewegungen des zweiten Schwingers entlang der zweiten Schwingachsachse sind

hierbei als Ausleseschwingung, die Bewegungen des ersten und zweiten Schwingers entlang der ersten Schwingungsachse als Anregungsschwingung aufzufassen.

5 Lineare Doppelschwingersysteme weisen den Nachteil auf, dass die Schwingungen der beiden linearen Schwinger entlang der ersten Schwingungsachse Vibrationen bzw. Reflexionen im Kreiselrahmen bewirken können. Unter "Kreiselrahmen" wird hierbei eine mechanische, nicht-schwingende Struktur verstanden, in der die Schwinger "eingebettet" sind, beispielsweise ein nicht-schwingender Teil einer
10 Siliziumscheibe. Die Vibrationen bzw. Reflexionen im Kreiselrahmen können wiederum Störungen (beispielsweise Dämpfekte) der Schwingerbewegungen nach sich ziehen. So können beispielsweise die Schwingungen des ersten und zweiten linearen Schwingers entlang der ersten Schwingungsachse durch externe Vibrationen und Beschleunigungen, die entlang der ersten Schwingungsachse wirken, gestört werden. Analog hierzu können externe Vibrationen und
15 Beschleunigungen, die in Richtung der zweiten Schwingungsachse wirken, die Schwingungen des zweiten linearen Schwingers entlang dieser Schwingungsachse stören, was – genauso wie alle anderen aufgeführten Störeinflüsse – zu einer Verfälschung der gemessenen Drehrate führt.
20 Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist, einen Corioliskreisel anzugeben, mit dem eine Störung der Ausleseschwingung, d. h. der Schwingung des zweiten linearen Schwingers in Richtung der zweiten Schwingungsachse aufgrund der oben genannten Störeinflüsse weitgehend vermieden werden kann.
25 Zur Lösung dieser Aufgabe stellt die Erfindung einen Corioliskreisel gemäß Patentanspruch 1 bereit. Des Weiteren stellt die Erfindung ein Verfahren zur Messung von Beschleunigungen/Drehraten unter Verwendung eines Drehraten-Corioliskreisels gemäß Patentanspruch 7 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen bzw. Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in den Unteransprüchen.
30 Der erfindungsgemäße Corioliskreisel weist einen ersten und einen zweiten Resonator auf, die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Swinger ausgestaltet sind, wobei der erste Resonator mit dem zweiten Resonator mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbare sind.
35 40 Der erfindungsgemäße Corioliskreisel weist demnach ein Massensystem auf, das aus zwei Doppelschwingersystemen (d.h. aus zwei Resonatoren) bzw. aus vier linearen Schwingern besteht. Das gegentaktige Schwingen der beiden Resonatoren

zueinander bewirkt hierbei, dass bei entsprechender Ausgestaltung der beiden Resonatoren der Schwerpunkt des Massensystems erhalten bleibt. Dies hat zur Folge, dass das Schwingen des Massensystems keine externen Vibrationen erzeugen kann, die wiederum Störungen in Form von Dämpfungen/Reflexionen 5 nach sich ziehen würden. Weiterhin haben externe Vibrationen und Beschleunigungen in Richtung der gemeinsamen Schwingungsachse keinen Einfluss auf die entlang der gemeinsamen Schwingungsachse erfolgende gegentaktige Bewegung der beiden Resonatoren.

10 Die Kopplung des ersten Resonators mit dem zweiten Resonator kann beispielsweise über ein Federsystem erfolgen, das den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator verbindet. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator über ein elektrostatisches Feld zu koppeln. Beide Kopplungen können allein oder in Kombination eingesetzt werden. Es ist 15 ausreichend, wenn beispielsweise beide Resonatoren in einem gemeinsamen Substrat ausgebildet sind, so dass die mechanische Kopplung durch eine mechanische Verbindung ersetzt wird, die durch das gemeinsame Substrat selbst gegeben ist.

20 Die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators sind vorzugsweise hinsichtlich Masse und Form identisch. In diesem Fall können die beiden Resonatoren achsensymmetrisch zueinander angeordnet sein bezüglich einer Symmetriearchse, die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse steht, d. h. der erste Resonator wird durch die Symmetriearchse auf den zweiten Resonator 25 abgebildet. Die Erfindung ist jedoch nicht hierauf beschränkt, es ist ausreichend, wenn die beiden Resonatoren die gleiche Masse aufweisen, in ihrer Form jedoch unterschiedlich ausgestaltet sind.

30 Wie bereits erwähnt, sind die gekoppelten Resonatoren derart ausgestaltet, dass beide linearen Schwinger eines Resonators entlang einer ersten Schwingungsachse im Gegentakt in Schwingung versetzbare sind (Anregungsschwingung), und der zweite lineare Swinger zusätzlich entlang einer zweiten Schwingungsachse in Schwingung versetzt werden kann (Ausleseschwingung). Wenn die erste und die zweite Schwingungsachse senkrecht 35 aufeinander stehen, und beiden Resonatoren entlang der ersten Schwingungsachse (gemeinsame Schwingungsachse) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzt werden, so werden die zweiten Schwinger bei Drehung des Corioliskreisels in entgegengesetzter Richtung ausgelenkt (Gegentakt-Auslenkung), wohingegen bei einer Beschleunigung des Corioliskreisels die 40 zweiten linearen Schwinger in der gleichen Richtung ausgelenkt werden (Gleichtakt-Auslenkung). Damit ist es möglich, wahlweise Beschleunigungen oder

Drehungen zu messen. Durch Auswertung eines Gleichtaktes wird die Beschleunigung, durch Auswertung eines Gegentaktes die Drehrate gemessen. Mit den Begriffen "Gleichtakt" und "Gegentakt" ist Folgendes gemeint: Bezeichnet man die Koordinaten in Anregungsrichtung mit x und in Ausleserichtung mit y.

5 dann gilt für den Gleichtakt $x_1 = x_2$, $y_1 = y_2$, und für den Gegentakt gilt: $x_1 = -x_2$, $y_1 = -y_2$ (hierbei bezeichnet der Index "1" den ersten Swinger, und der Index "2" den zweiten Swinger).

Die Erfindung stellt aus diesem Grunde ein Verfahren zur wahlweisen
10 beziehungsweise gleichzeitigen Messung von Drehraten und Beschleunigungen bereit. Dieses Verfahren verwendet einen Drehraten-Corioliskreisel, der einen ersten und einen zweiten Resonator aufweist, die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Swinger ausgestaltet sind, und bei dem zu ermittelnde Drehraten durch Abgriff und Auswertung der
15 Auslenkungen der zweiten Swinger bestimmt werden. Das Verfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Versetzen der beiden Resonatoren in zueinander gegentaktige Schwingungen entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse,
- 20 Vergleichen der Auslenkungen der zweiten Swinger untereinander, um einen Gegentakt-Auslenkungsanteil, der ein Maß für die zu messende Drehrate ist, und/oder einen gemeinsamen Gleichtakt-Auslenkungsanteil, der ein Maß für die zu messenden Beschleunigung ist, zu ermitteln, und
- Berechnen der zu messenden Drehrate/Beschleunigung aus dem Gegentakt-Auslenkungsanteil/Gleichtakt-Auslenkungsanteil.

25 Der gemeinsame Gleichtakt-Auslenkungsanteil wird vorteilhafterweise wie folgt ermittelt: Es wird ein erster Quadraturbias, der innerhalb des ersten Resonators auftritt, und ein zweiter Quadraturbias, der innerhalb des zweiten Resonators auftritt, bestimmt. Dann werden der erste und der zweite Quadraturbias addiert und subtrahiert, um einen gemeinsamen Quadraturbiasanteil (Gleichtaktanteil) und einen Unterschieds-Quadraturbiasanteil (Gegentaktanteil) zu bestimmen. Der gemeinsame Quadraturbiasanteil ist der zu messenden Beschleunigung proportional und entspricht dem gemeinsamen Gleichtakt-Auslenkungsanteil. Der Unterschieds-Quadraturbiasanteil (Differenz) entspricht dem Gegentakt-Auslenkungsanteil. Damit kann über den Unterschieds-Quadraturbiasanteil gleichzeitig zur Beschleunigung die Drehrate gemessen werden.

Zum besseren Verständnis des vorangehend beschriebenen Beschleunigungs-Messprinzips sei in der folgenden Beschreibung nochmals kurz auf die physikalischen Grundlagen eines Corioliskreisels anhand des Beispiels eines linearen Doppelschwingersystems eingegangen.

Corioliskreisel weisen im Allgemeinen einen Quadraturbias, d. h. einen Nullpunktfehler auf. Der Quadraturbias setzt sich hierbei aus mehreren Quadraturbias-Anteilen zusammen. Einer dieser Quadraturbias-Anteile entsteht aufgrund von Fehlausrichtungen des ersten und zweiten linearen Schwingers
 5 zueinander, die aufgrund von Fertigungstoleranzen unvermeidlich sind. Die Fehlausrichtungen der beiden Schwingen zueinander erzeugen einen Nullpunktfehler im gemessenen Drehratensignal.

Die Corioliskraft lässt sich darstellen als:

10

$$\bar{F} = 2m\bar{v}_s \times \bar{\Omega} \quad (1)$$

\bar{F} Corioliskraft

m Masse des Schwingers

\bar{v}_s Geschwindigkeit des Schwingers

15

$\bar{\Omega}$ Drehrate

Ist die auf die Corioliskraft reagierende Masse gleich der schwingenden Masse und wird der Schwaniger mit der Eigenfrequenz ω betrieben, so gilt:

20

$$2m\bar{v}_s \times \bar{\Omega} = m\bar{a}_c \quad (2)$$

Für die Schwingergeschwindigkeit gilt:

25

$$\bar{v}_s = \bar{v}_{s0} \sin \omega t \quad (3)$$

mit

\bar{v}_{s0} Schwingeramplitude

ω Eigenfrequenz des Schwingers

Somit gilt für die Schwinger- und Coriolisbeschleunigungen:

30

$$\bar{a}_s = \bar{v}_{s0} \omega \cos \omega t$$

$$\bar{a}_c = 2\bar{v}_{s0} \sin \omega t \times \bar{\Omega} \quad (4)$$

Damit stehen die beiden Beschleunigungsvektoren räumlich senkrecht
 35 aufeinander und sind in der Zeitfunktion um 90° gegeneinander versetzt (räumliche und zeitliche Orthogonalität).

Diese beiden Kriterien können benutzt werden, um die Schwingerbeschleunigung \bar{a}_s von der Coriolisbeschleunigung \bar{a}_c zu trennen. Das Verhältnis der o. g. Beschleunigungsamplituden a_c und a_s beträgt:

5

$$\frac{a_c}{a_s} = \frac{2\Omega}{\omega} \quad (5)$$

Für eine Drehrate $\Omega = 5^\circ/\text{h}$ und eine Eigenfrequenz des Schwingers $f_s = 10 \text{ KHz}$ ergibt sich:

10

$$\frac{a_c}{a_s} = 7,7 \cdot 10^{-10} \quad (6)$$

15

Für eine Genauigkeit von $5^\circ/\text{h}$ dürfen unerwünschte Kopplungen des ersten Schwingers auf den zweiten Schwingen höchstens $7,7 \cdot 10^{-10}$ betragen oder auf diesem Wert konstant sein. Verwendet man ein Massensystem aus zwei linearen Schwingern, die über Federelemente miteinander gekoppelt sind, so ist die Genauigkeit der räumlichen Orthogonalität aufgrund der Fehlausrichtung der Federelemente zwischen Schwing- und Messmode begrenzt. Die erreichbare Genauigkeit (durch Fertigungstoleranzen begrenzt) beträgt 10^{-3} bis 10^{-4} . Die Genauigkeit der zeitlichen Orthogonalität wird durch die Phasengenauigkeit der Elektronik bei z. Bsp. 10 KHz begrenzt, die ebenfalls nur auf höchstens 10^{-3} bis 10^{-4} einzuhalten ist. Daraus folgt, dass das oben definierte Verhältnis der Beschleunigungen nicht eingehalten werden kann.

20

Realistisch ergibt sich ein Fehler des gemessenen Beschleunigungsverhältnisses a_c/a_s von

25

$$\frac{a_c}{a_s} = 10^{-6} \text{ bis } 10^{-8} \quad (7)$$

35

Der räumliche Fehler resultiert in einem sogenannten Quadraturbias B_0 , der mit dem zeitlichen Phasenfehler Δ_φ einen Bias B ergibt:

$$\begin{aligned} B_0 &= 6,5 \cdot 10^6 {}^\circ/\text{h bis } 6,5 \cdot 10^5 {}^\circ/\text{h} \\ \Delta_\varphi &= 10^{-3} \text{ bis } 10^{-4} \end{aligned} \quad (8)$$

$$B = B_0 \cdot \Delta_\varphi = 6,500 {}^\circ/\text{h bis } 65 {}^\circ/\text{h}$$

Somit bewirkt der Quadraturbias eine starke Einschränkung der Messgenauigkeit. Dabei ist anzumerken, dass o. g. Fehlerbetrachtung nur die direkte Kopplung vom Schwing- in den Auslesemode berücksichtigt. Es existieren noch weitere Quadraturbiasanteile, die beispielsweise durch Kopplungen mit anderen Schwingungsmoden entstehen.

Wenn der Corioliskreisel derart ausgestaltet ist, dass die ersten Schwinger durch erste Federelemente mit einem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbunden, und die zweiten Schwinger durch zweite Federelemente jeweils mit einem der ersten 10 Schwinger verbunden sind, so bewirkt die zu messende Beschleunigung eine Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der ersten Schwinger zu den zweiten Schwingern, die sich insbesondere in einer Änderung der Ausrichtung der zweiten Federelemente manifestiert. Die Ausrichtungsänderung der zweiten Federelemente erzeugt hierbei einen "künstlichen" Quadraturbias-Anteil, d.h. einen "Fehler" im 15 Quadraturbias-Signal. Somit kann über die Bestimmung des Quadraturbias indirekt auch auf die zu messende Beschleunigung geschlossen werden, die den entsprechenden "künstlichen" Quadraturbias-Anteil bewirkt hat.

Die Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente verlaufen vorzugsweise 20 senkrecht zueinander. Die Federelemente können eine beliebige Form aufweisen.

Unter "erster Quadraturbias" und "zweiter Quadraturbias" wird vorzugsweise jeweils der gesamte Quadraturbias eines Resonators verstanden. Es ist jedoch auch möglich, im erfundungsgemäßen Beschleunigungsmeßverfahren in jedem 25 Resonator jeweils nur einen Quadraturbiasanteil zu ermitteln, wobei der ermittelte Quadraturbiasanteil zumindest den durch die zu messende Beschleunigung bzw. zu messende Drehung bewirkten Anteil enthalten muss.

Der Corioliskreisel weist vorzugsweise eine Einrichtung zur Ermittlung erster 30 Drehraten- und Quadraturbiassignale, die innerhalb des ersten Resonators auftreten, und zweiter Drehraten- und Quadraturbiassignale, die innerhalb des zweiten Resonators auftreten, auf. Der Corioliskreisel kann ferner eine Einrichtung zur Erzeugung elektrostatischer Felder aufweisen, durch die ein Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente bezüglich des Kreiselrahmens 35 änderbar und/oder ein Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente bezüglich der ersten Schwinger änderbar ist. Durch Vorsehen entsprechender Regelkreise kann dann die Ausrichtung/Stärke der elektrostatischen Felder so geregelt werden, dass der erste und der zweite Quadraturbias jeweils möglichst klein wird. Mittels einer Recheneinheit kann aus den ersten und zweiten Drehraten- 40 /Quadraturbiassignalen die Drehrate ermittelt und aus einem Gleichtaktanteil der elektrostatischen Felder, die den ersten und zweiten Quadraturbias kompensieren, auf die zu messende Beschleunigung geschlossen werden.

Der Quadraturbias wird vorzugsweise also am Entstehungsort selbst eliminiert, d. h. mechanische Fehlausrichtungen der beiden Swinger zueinander sowie durch die zu messende Beschleunigung/Drehung bewirkte Änderungen der gegenseitigen Ausrichtung der beiden Swinger werden durch eine elektrostatische Kraft, die auf einen oder beide Swinger wirkt und durch das elektrostatische Feld erzeugt wird, kompensiert. Eine derartige Quadraturbias-Kompensation hat den Vorteil, dass sowohl Drehraten als auch Beschleunigungen mit einer erhöhten Messgenauigkeit ermittelt werden können.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform werden durch die elektrischen Felder die Ausrichtungswinkel der ersten und zweiten Federelemente so geändert, dass eine Orthogonalisierung der Ausrichtungen der ersten und zweiten Federelemente zueinander bewirkt wird. Ist eine derartige Orthogonalisierung erreicht, so ist der dadurch erzeugte Quadraturbias(anteil) kompensiert. Bei weiteren Beiträgen zum Quadraturbias wird der Fehlwinkel zur Orthogonalität so eingestellt, dass der gesamte Quadraturbias verschwindet. Vorzugsweise werden die Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente bezüglich des ersten Schwingers durch das elektrostatische Feld geändert, und die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente bezüglich des Kreiselrahmens des Corioliskreisels nicht geändert. Es ist jedoch auch möglich, durch das elektrostatische Feld lediglich die Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente zu ändern, oder die Ausrichtungswinkel sowohl der ersten als auch der zweiten Federelemente zu ändern.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Corioliskreisels weist:

- einen ("Gesamt"-) Resonator, der als System aus zwei gekoppelten ersten (linearen) Schwingern ("Sub-Resonatoren") realisiert ist, die im Gegentakt erregt werden und die jeweils einen zweiten linearen Ausleseschwinger enthalten,
- eine Einrichtung zur Erzeugung wenigstens eines elektrostatischen Felds, durch das die Ausrichtung der beiden gekoppelten ersten Swinger zu den zweiten (Auslese-) Schwingern änderbar ist,
- eine Einrichtung zur Ermittlung der Quadraturbiasse der Ausleseschwinger, die durch Fehlausrichtungen der beiden Swinger zum Erregungsschwinger und weiteren Kopplungsmechanismen verursacht werden,
- einen Regelkreis, der die Stärke des wenigstens einen elektrostatischen Felds mittels wenigstens eines entsprechenden Regelsignals jeweils so regelt, dass die ermittelten Quadraturbiasse möglichst klein werden,
- eine Recheneinheit, die jeweils Differenzen und Summen des wenigstens einen Regelsignals bildet und daraus die Drehrate und die Beschleunigung ermittelt, auf.

Prinzipiell ist es möglich, Beschleunigungen bzw. Drehraten nur auf Basis der ermittelten Quadraturbiasse zu berechnen, d.h. für eine Ermittlung der Quadraturbiasse ist eine Kompensation des ersten und zweiten Quadraturbias nicht zwingend notwendig. Aufgrund von Messgenauigkeitsgründen ist dies jedoch 5 ratsam, da wegen Phasentoleranzen Drehrate und Quadratur miteinander vermischt sind. Die Erfindung beinhaltet beide Alternativen.

Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, in den Resonatoren jeweils den zweiten 10 Swinger am ersten Swinger "einseitig" zu befestigen bzw. einzuspannen. "Einseitig eingespannt" kann hierbei sowohl wörtlich als auch in einem allgemeinen Sinn verstanden werden. Allgemein bedeutet "einseitig" befestigt bzw. eingespannt, dass die Krafteinleitung von dem ersten Swinger auf den zweiten Swinger im Wesentlichen von einer "Seite" des ersten Schwingers aus erfolgt. Wäre der Aufbau des Schwingersystems beispielsweise derart, dass der zweite 15 Swinger durch den ersten Swinger eingerahmt wird und mit diesem durch zweite Federelemente verbunden ist, so würde einseitig eingespannt bzw. befestigt folgendes implizieren: der zweite Swinger wird der Bewegung des ersten Schwingers nachgeführt, indem der erste Swinger den zweiten Swinger mittels der zweiten Federelemente abwechselnd "schiebt" oder "zieht".

20 Ein einseitiges Einspannen des zweiten Schwingers am ersten Swinger hat den Vorteil, dass bei Ausüben einer elektrostatischen Kraft auf den zweiten Swinger aufgrund der dadurch resultierenden Ausrichtungs-/Positionsänderung des zweiten Schwingers die zweiten Federelemente leicht verbogen werden können und damit der entsprechende Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente 25 problemlos geändert werden kann. Wäre in diesem Beispiel der zweite Swinger an zusätzlichen zweiten Federelementen aufgehängt derart, dass bei einer Bewegung des ersten Schwingers der zweite Swinger durch die zweiten Federelemente gleichzeitig "gezogen" und "geschoben" würde, so läge eine 30 "zweiseitige" Einspannung bzw. Befestigung des zweiten Schwingers an dem ersten Swinger vor (Krafteinleitung auf den zweiten Swinger von zwei gegenüberliegenden Seiten des ersten Schwingers aus). In diesem Fall würden die zusätzlichen zweiten Federelemente bei Anlegen eines elektrostatischen Felds entsprechende Gegenkräfte erzeugen, so dass Änderungen der Ausrichtungswinkel 35 der zweiten Federelemente nur schwer erzielbar wären. Eine zweiseitige Einspannung ist jedoch dann akzeptabel, wenn die zusätzlichen zweiten Federelemente so ausgelegt sind, dass der Einfluss dieser Federelemente gering ist und somit auch hier eine problemlose Verbiegung aller Federelemente erfolgen kann, also effektiv eine einseitige Einspannung vorliegt. Je nach Auslegung der 40 Swingerstruktur kann effektiv bereits eine einseitige Einspannung vorliegen, wenn der "Einfluss" (Krafteinleitung) der zusätzlichen zweiten Federelemente 40% oder weniger beträgt. Dieser Wert stellt jedoch keine Einschränkung der Er-

findung dar, es ist auch denkbar dass der Einfluss der zweiten Federelemente mehr als 40% beträgt. Eine einseitige Einspannung kann beispielsweise dadurch realisiert werden, dass alle zweiten Federelemente, die den zweiten Schwinger mit dem ersten Schwinger verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sind. Alle Anfangs- und Endpunkte der zweiten Federelemente sind jeweils an den gleichen Seiten des ersten bzw. zweiten Schwingers befestigt. Die Anfangs- und Endpunkte der zweiten Federelemente können dabei vorteilhafterweise jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen, wobei die Achsen die zweiten Federelemente im rechten Winkel schneiden.

10

Ist der zweite Schwinger einseitig am ersten Schwinger befestigt bzw. eingespannt, so sind die ersten Federelemente vorzugsweise so ausgestaltet, dass diese den ersten Schwinger am Kreiselrahmen zweiseitig einspannen (die Begriffe "einseitig" und "zweiseitig" sind hier analog zu verwenden). Alternativ hierzu ist es jedoch möglich, auch die ersten Federelemente so auszugestalten, dass sie den ersten Schwinger einseitig einspannen. Beispielsweise können sämtliche erste Federelemente, die den ersten Schwinger mit dem Kreiselrahmen des Corioliskreisels verbinden, parallel und in einer Ebene zueinander angeordnet sein, wobei vorzugsweise die Anfangs- und Endpunkte der ersten Federelemente jeweils auf einer gemeinsamen Achse liegen. Genauso ist es möglich, die Federelemente so auszugestalten, dass der erste Schwinger am Kreiselrahmen einseitig eingespannt ist, und der zweite Schwinger durch den ersten Schwinger zweiseitig eingespannt wird. Auch ist es möglich, beide Schwingen zweiseitig einzuspannen. Für die Quadraturbiaskompensation hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenigstens einen der beiden Schwingen einseitig einzuspannen.

Die Erfindung wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Figuren in beispielweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

30 **Fig. 1** eine mögliche Ausführungsform eines aus zwei linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Regelkreisen, die der Anregung des ersten Schwingers dienen.

35 **Fig. 2** eine mögliche Ausführungsform eines aus zwei linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Mess- und Regelkreisen für eine Drehrate Ω und einen Quadraturbias B_0 sowie Hilfregelkreisen zur Kompensation des Quadraturbias B_0 .

40 **Fig. 3** eine Prinzipskizze eines erfindungsgemäßen, aus vier linearen Schwingern bestehenden Massensystems mit entsprechenden Mess- und Regelkreisen für eine Drehrate Ω und einen Quadraturbias B_0 sowie den Hilfsregelkreisen zur Kompensation des Quadraturbias.

Fig. 4 eine bevorzugte Ausführungsform des in Fig. 3 gezeigten Regelsystems.

Fig. 1 zeigt den schematischen Aufbau eines linearen Doppelschwingers 1 mit entsprechenden Elektroden, sowie ein Blockschaltbild einer zugehörigen Auswerte-/Anregungselektronik 2. Der lineare Doppelschwinger 1 wird vorzugsweise mittels Ätzprozessen aus einer Siliziumscheibe hergestellt und weist einen ersten linearen Schwinger 3, einen zweiten linearen Schwinger 4, erste Federelemente 5₁ bis 5₄, zweite Federelemente 6₁ und 6₂ sowie Teile eines Zwischenrahmens 7₁ und 7₂ und eines Kreiselrahmens 7₃ und 7₄ auf. Der zweite Schwinger 4 ist innerhalb des ersten Schwingers 3 schwingbar gelagert und mit diesem über die zweiten Federelemente 6₁, 6₂ verbunden. Der erste Schwinger 3 ist mit dem Kreiselrahmen 7₃, 7₄ durch die ersten Federelemente 5₁ bis 5₄ und dem Zwischenrahmen 7₁, 7₂ verbunden.

Weiterhin sind erste Anregungselektroden 8₁ bis 8₄, erste Ausleseelektroden 9₁ bis 9₄, zweite Anregungselektroden 10₁ bis 10₄ sowie zweite Ausleseelektroden 11₁ und 11₂ vorgesehen. Sämtliche Elektroden sind mit dem Kreiselrahmen mechanisch verbunden, aber elektrisch isoliert. Unter "Kreiselrahmen" wird eine mechanische, nicht-schwingende Struktur verstanden, in der die Schwingen "eingebettet" sind, beispielsweise der nicht-schwingende Teil der Siliziumscheibe.

Wird der erste Schwinger 3 mittels der ersten Anregungselektroden 8₁ bis 8₄ zu einer Schwingung in X1-Richtung angeregt, so wird diese Bewegung durch die zweiten Federelemente 6₁, 6₂ auf den zweiten Schwinger 4 übertragen (abwechselndes "Ziehen" und "Schieben"). Durch die vertikale Ausrichtung der ersten Federelemente 5₁ bis 5₄ ist dem ersten Schwinger 3 eine Bewegung in der X2-Richtung verwehrt. Eine vertikale Schwingung kann jedoch aufgrund der horizontalen Ausrichtung der zweiten Federelemente 6₁, 6₂ durch den zweiten Schwinger 4 ausgeführt werden. Treten demnach entsprechende Corioliskräfte auf, so wird der zweite Schwinger 4 zu Schwingungen in der X2-Richtung angeregt.

Ein von den ersten Ausleseelektroden 9₁ bis 9₄ ausgelesenes, der Amplitude/Frequenz der X1-Bewegung des ersten Schwingers 3 proportionales Auslesesignal wird über entsprechende Verstärkerelemente 21, 22 und 23 einem Analog/Digital-Wandler 24 zugeführt. Ein entsprechend digitalisiertes Ausgangssignal des Analog/Digital-Wandlers 24 wird sowohl durch einen ersten Demodulator 25 und durch einen zweiten Demodulator 26 in entsprechende Ausgangssignale demoduliert, wobei die beiden Demodulatoren um 90° versetzt zueinander arbeiten. Das Ausgangssignal des ersten Demodulators 25 wird einem ersten Regler 27 zur Regelung der Frequenz der Anregungsschwingung

(Schwingung des Massensystems 1 in X1-Richtung) zugeführt, dessen Ausgangssignal einen Frequenzgenerator 30 so steuert, dass das nach dem Demodulator 25 auftretende Signal auf Null geregelt wird. Analog hierzu wird das Ausgangssignal des zweiten Demodulators 26 auf einen konstanten Wert geregelt, 5 der von der Elektronikkomponente 29 vorgegeben wird. Ein zweiter Regler 31 sorgt für die Regelung der Amplitude der Anregungsschwingung. Die Ausgangssignale des Frequenzgenerators 30 und des Amplitudenreglers 31 werden durch einen Multiplizierer 32 miteinander multipliziert. Ein Ausgangssignal des Multiplizierers 32, das der auf die ersten An- 10 regungselektroden 8₁ bis 8₄ zu gebenden Kraft proportional ist, beaufschlagt sowohl einen ersten Kraft-Spannungswandler 33 als auch einen zweiten Kraft- Spannungswandler 34, die aus dem digitalen Kraftsignal digitale Spannungssignale erzeugen. Die digitalen Ausgangssignale der Kraft-Span- 15 nungswandler 33, 34 werden über einen ersten und einen zweiten Digital/Analog- Wandler 35, 36 in entsprechende analoge Spannungssignale umgesetzt, die dann auf die ersten Anregungselektroden 8₁ bis 8₄ gegeben werden. Durch den ersten Regler 27 und den zweiten Regler 31 werden die Frequenz der Eigenfrequenz des 20 ersten Schwingers 3 nachgeführt und die Amplitude der Anregungsschwingung auf einen bestimmten, vorgebbaren Wert eingestellt.

Treten Corioliskräfte auf, so wird die daraus resultierende Bewegung des zweiten Schwingers 4 in X2-Richtung (Ausleseschwingung) durch die zweiten Aus- 25 leseelektroden 11₁, 11₂ erfasst und ein der Bewegung der Ausleseschwingung proportionales Auslesesignal über entsprechende Verstärkerelemente 40, 41, und 42 einem Analog/Digital-Umwandler 43 zugeführt (siehe Fig. 2). Ein digitales Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 43 wird von einem dritten Demodulator 44 in Phase mit dem Direktbiassignal demoduliert, und durch einen vierten Demodulator 45 um 90° versetzt demoduliert. Ein entsprechendes Ausgangssignal des ersten Demodulators 44 beaufschlagt einen dritten Regler 46, 30 dessen Ausgangssignal ein Kompensationssignal ist und der zu messenden Drehrate Ω entspricht. Ein Ausgangssignal des vierten Demodulators 45 beaufschlagt einen vierten Regler 47, dessen Ausgangssignal ein Kom- 35 pensationssignal ist und dem zu kompensierenden Quadraturbias proportional ist. Das Ausgangssignal des dritten Reglers wird mittels eines ersten Modulators 48 moduliert, analog hierzu wird das Ausgangssignal des vierten Reglers 47 durch einen zweiten Modulator 49 moduliert, sodass amplitudengeregelte Signale entstehen, deren Frequenz der Eigenfrequenz der Schwingung in X1-Richtung ($\sin \approx 0^\circ, \cos \approx 90^\circ$) entsprechen. Entsprechende Ausgangssignale der Modulatoren 48, 49 werden in einer Addierstufe 50 addiert, deren Ausgangssignal sowohl 40 einem dritten Kraft-Spannungswandler 51 als auch einem vierten Kraft- Spannungswandler 52 zugeführt wird. Die entsprechenden Ausgangssignale der Kraft-Spannungswandler 51, 52 werden Digital/Analog-Umwandlern 53, 54

zugeführt, wobei deren analoge Ausgangssignale die zweiten Anregungselektroden 10₂ bis 10₃ beaufschlagen und die Schwingungsamplituden des zweiten Schwingers 4 rückstellen.

5 Das durch die zweiten Anregungselektroden 10₁ und 10₄ erzeugte elektrostatische Feld (bzw. die beiden durch die Elektrodenpaare 10₁, 10₃ und 10₂, 10₄ erzeugten elektrostatischen Felder) bewirkt eine Ausrichtungs-/Positionsänderung des zweiten Schwingers 4 in der X2-Richtung und damit eine Änderung der Ausrichtungen der zweiten Federelemente 6₁ bis 6₂. Der vierte Regler 47 regelt das
10 die zweiten Anregungselektroden 10₁ und 10₄ beaufschlagende Signal derart, dass der Quadraturbias, der im Kompensationssignal des vierten Reglers 47 enthalten ist, möglichst klein wird bzw. verschwindet. Dazu wird ein fünfter Regler 55, ein
fünfter und sechster Kraft-Spannungswandler 56, 57 und zwei Analog/Digital-Umwandler 58, 59 eingesetzt.

15 Das Ausgangssignal des vierten Reglers 47, das ein Maß für den Quadraturbias ist, wird dem fünften Regler 55 zugeführt, der das durch die beiden Anregungselektroden 10₁ und 10₄ erzeugte elektrostatische Feld so regelt, dass der Quadraturbias B₀ verschwindet. Dazu wird ein Ausgangssignal des fünften Reglers 55 jeweils dem fünften und sechsten Kraft-Spannungswandler 56, 57 zugeführt, die aus dem digitalen Kraft-Ausgangssignal des fünften Reglers digitale Spannungssignale erzeugen. Diese werden anschließend in den Analog/Digital-Umwandlern 58, 59 in analoge Spannungssignale umgewandelt. Das analoge Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 58 wird der zweiten Anregungselektrode 10₁ oder alternativ 11₁ zugeführt. Das analoge Ausgangssignal des Analog/Digital-Umwandlers 59 wird der zweiten Anregungselektrode 10₄ oder alternativ 11₂ zugeführt.

30 Da die Einspannung des zweiten Schwingers 4 lediglich durch die zweiten Federelemente 6₁ bis 6₂ bewirkt wird (einseitige Einspannung), kann die Ausrichtung dieser Federelemente durch das elektrostatische Feld problemlos geändert werden. Weiterhin ist es möglich, zusätzliche zweite Federelemente vorzusehen, die eine zweiseitige Einspannung des zweiten Schwingers 4 bewirken, solange durch entsprechende Auslegung dieser zusätzlichen Federelemente
35 sichergestellt ist, dass effektiv eine einseitige Einspannung erzielt wird. Um denselben Effekt auch für die Federelemente 5₁, 5₂ bzw. die Federelemente 5₃, 5₄ zu ermöglichen, können das dritte und vierte Federelement 5₃, 5₄ bzw. das erste und zweite Federelement 5₁, 5₂ weggelassen werden und damit (zusammen mit einer hier nicht gezeigten, entsprechend geänderten Elektrodenkonfiguration) eine
40 einseitige Einspannung des ersten Schwingers 3 bewirkt werden. In einem derartigen Fall könnte der zweite Schwinger 4 auch mit weiteren Federelementen

am ersten Swinger befestigt werden, um eine zweiseitige Einspannung zu erzielen.

In der folgenden Beschreibung soll unter Bezugnahme auf Fig. 3 eine bevorzugte 5 Ausführungsform des erfindungsgemäßen Corioliskreisels sowie dessen Funktionsweise näher beschrieben werden.

Fig. 3 zeigt den schematischen Aufbau eines gekoppelten Systems 1' aus einem ersten Resonator 70₁ und einem zweiten Resonator 70₂. Der erste Resonator 70₁ 10 ist mit dem zweiten Resonator 70₂ über ein mechanisches Kopplungselement 71, eine Feder, gekoppelt. Der erste und der zweite Resonator 70₁, 70₂ sind in einem gemeinsamen Substrat ausgebildet und können entlang einer gemeinsamen Schwingungssachse 72 gegentaktig zueinander in Schwingung versetzt werden. Der erste und der zweite Resonator 70₁, 70₂ sind identisch und werden über eine 15 Symmetriearchse 73 aufeinander abgebildet. Der Aufbau des ersten und des zweiten Resonators 70₁, 70₂ wurde bereits im Zusammenhang mit Fig. 1 und 2 erläutert und wird deshalb nicht nochmals erklärt; identische bzw. einander entsprechende Bauteile bzw. Bauteilgruppen sind mit den gleichen Bezugsziffern 20 gekennzeichnet, wobei identische Bauteile, die unterschiedlichen Resonatoren angehören, mit unterschiedlichen Indices gekennzeichnet sind.

Ein wesentlicher Unterschied der in Fig. 3 gezeigten Doppelschwingern zu den in den Fig. 1 und 2 gezeigten Doppelschwingern ist, dass einige der Einzelelektroden konstruktiv zu einer Gesamtelektrode zusammengefasst werden. So bilden 25 beispielsweise die mit den Bezugsziffern 8₁, 8₂, 9₁ und 9₂ gekennzeichneten Einzelelektroden in Fig. 3 eine gemeinsame Elektrode. Weiterhin bilden die mit den Bezugsziffern 8₃, 8₄, 9₃ und 9₄ gekennzeichneten Einzelelektroden eine gemeinsame Elektrode, und die mit den Bezugsziffern 10₄, 10₂, 11₂ sowie den Bezugsziffern 11₁, 10₃ und 10₁ jeweils eine Gesamtelektrode. Das Gleiche gilt 30 analog für das andere Doppelschwingersystem.

Bei Betrieb des erfindungsgemäßen gekoppelten Systems 1' schwingen die beiden Resonatoren 70₁, 70₂ entlang der gemeinsamen Schwingungssachse 72 im Gegentakt. Damit ist das gekoppelte System 1' unanfällig gegenüber externen 35 Störungen bzw. gegenüber Störungen, die durch das gekoppelte System 1' selbst in das Substrat, in dem die Resonatoren 70₁ und 70₂ gelagert sind, abgegeben werden.

Wenn das gekoppelte System 1' gedreht wird, so werden die zweiten Schwinger 4₁ 40 und 4₂ in zueinander entgegengesetzte Richtungen ausgelenkt (in X2-Richtung und entgegengesetzt zur X2-Richtung). Tritt eine Beschleunigung des gekoppelten Systems 1' auf, so werden die zweiten Schwinger 4₁, 4₂ jeweils in die gleiche

Richtung, nämlich in Richtung der Beschleunigung, ausgelenkt, insofern diese in oder entgegengesetzt der X2-Richtung wirkt. Somit lassen sich gleichzeitig oder wahlweise Beschleunigungen und Drehungen messen. Während den Messverfahren kann gleichzeitig eine Quadraturbias-Kompensation in den Resonatoren 70₁, 70₂ erfolgen. Dies ist jedoch nicht zwingend erforderlich.

Prinzipiell ist es möglich, das gekoppelte System 1' auf Basis der in Fig. 1 und 2 beschriebenen Auswerte-/Anregungselektronik 2 zu betreiben. In der in Fig. 3 gezeigten Ausführungsform wird jedoch stattdessen ein alternatives Verfahren 10 (Trägerfrequenzverfahren) eingesetzt. Dieses Betriebsverfahren soll im Folgenden beschrieben werden.

Die mit Bezugsziffer 2' gekennzeichnete Auswerte-/Anregungselektronik 2 weist 15 drei Regelkreise auf: Einen ersten Regelkreis zur Anregung bzw. Regelung einer Gegentaktschwingung der ersten Schwinger 3₁ und 3₂ entlang der gemeinsamen Schwingungssachse 72, einen zweiten Regelkreis zur Rückstellung und Kompensation der Schwingungen des zweiten Schwingers 4₁ entlang der X2-Richtung, und einen Regelkreis zur Rückstellung und Kompensation der Schwingungen des zweiten Schwingers 4₂ entlang der X2-Richtung. Die 20 beschriebenen drei Regelkreise weisen einen Verstärker 60, einen Analog/Digital-Umwandler 61, ein Signaltrennungsmodul 62, ein erstes bis drittes Demodulationsmodul 63₁ bis 63₃, ein Regelmodul 64, ein Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65, ein Trägerfrequenz-Additionsmodul 67, sowie einen ersten bis sechsten Digital/Analog-Umwandler 66₁ bis 66₆ auf.

25 Die Beaufschlagung der Elektroden 8₁ bis 8₈, 9₁ bis 9₈, 10₁ bis 10₈ sowie 11₁ bis 11₄ mit Trägerfrequenzen zur Abgriffserregung der Gegentaktschwingung bzw. der Schwingungen der zweiten Schwinger 4₁, 4₂ kann hierbei auf mehrrelei Art und Weise erfolgen: a) Unter Verwendung von drei unterschiedlichen Frequenzen, 30 wobei jedem Regelkreis eine Frequenz zugeordnet ist, b) unter Verwendung von Rechtecksignalen im Zeitmultiplex-Verfahren, oder c) unter Verwendung einer Random-Phasen-Verwürfelung (stochastisches Modulationsverfahren). Die Beaufschlagung der Elektroden 8₁ bis 8₈, 9₁ bis 9₈, 10₁ bis 10₈ sowie 11₁ bis 11₄ erfolgt über die zusammengehörigen Signale UyAo, UyAu (für den zweiten 35 Schwinger 4₁) und UxL, UxR (für die Gegentaktresonanz der ersten Schwinger 3₁ zu 3₂), sowie UyBu und UyBo (für den zweiten Schwinger 4₂), die in dem Trägerfrequenz-Additionsmodul 67 erzeugt und in Gegentakt mit o.g. Frequenzsignalen erregt werden. Der Abgriff der Schwingungen der ersten und zweiten Schwinger 3₁, 3₂, 4₁ und 4₂ erfolgt über die mit Bezugsziffern 7₇, 7₉, 7₁₁ 40 und 7₁₃ gekennzeichneten Teile des Kreiselrahmens, die hier neben ihrer Funktion als Aufhängepunkte des Massensystems zusätzlich als Abgriffselektroden dienen. Dazu sind die beiden Resonatoren 70₁, 70₂ vorzugsweise mit allen Rahmen, Federn

und Verbindungen vorteilhafterweise elektrisch leitend ausgestaltet. Das durch die Kreiselrahmen-Teile 7₇, 7₉, 7₁₁ und 7₁₃ abgegriffene, dem Verstärker 60 zugeführte Signal enthält Information über alle drei Schwingungsmoden und wird durch den Analog/Digital-Umwandler 61 in ein digitales Signal umgewandelt, das 5 dem Signaltrennungsmodul 62 zugeführt wird. In dem Signaltrennungsmodul 62 wird das zusammengesetzte Signal in drei unterschiedliche Signale getrennt: x (enthält Information über die Gegentaktschwingung), yA (enthält Information über die Auslenkung des zweiten Schwingers 4₁), sowie yB (enthält Information über die Auslenkung des zweiten Schwingers 4₂). Die Signaltrennung gestaltet sich je 10 nach Typ des verwendeten Trägerfrequenzverfahrens (siehe oben a) bis c)) unterschiedlich, und erfolgt durch Demodulation mit den entsprechenden Signalen des verwendeten Trägerfrequenzverfahrens. Die Signale x, yA, sowie yB werden den Demodulationsmodulen 63₁ bis 63₃ zugeführt, die diese mit einer Arbeitsfrequenz der Gegentaktschwingung für 0° und 90° demodulieren. Das 15 Regelmodul 64 sowie das Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65 zur Regelung/Berechnung der Signale Fx1/r bzw. Ux1/r sind vorzugsweise analog zu dem in Fig. 1 gezeigten Elektronikmodul 2 ausgestaltet. Das Regelmodul 64 sowie das Elektrodenspannungs-Berechnungsmodul 65 zur Regelung/Berechnung der Signale FyAo/u, UyAo/u, sowie FyBo/u, UyBo/u sind vorzugsweise analog zu dem 20 in Fig. 2 gezeigten Elektronikmodul 2 ausgestaltet.

Fig. 4 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform des mit Bezugsziffer 64 gekennzeichneten Regelsystems aus Fig. 3. Das Regelsystem 64 weist einen ersten bis dritten Teil 64₁ bis 64₃ auf. Der erste Teil 64₁ weist einen ersten Regler 80, einen Frequenzgenerator 81, einen zweiten Regler 82, eine Elektronikkomponente 83, eine Addierstufe 84, und einen Multiplizierer 85 auf. Die Funktionsweise des ersten Teils entspricht im Wesentlichen der Funktionsweise des in Fig. 1 gezeigten Elektronikmoduls 2 und wird deshalb hier nicht nochmals erläutert. Der zweite Teil 64₂ weist einen ersten Regler 90, einen ersten Modulator 91, einen zweiten 25 Regler 92, einen zweiten Modulator 93 und einen dritten Regler 94 auf. Ferner sind eine erste und eine zweite Addierstufe 95, 96 vorgesehen. Am Ausgang des ersten Reglers 90 kann ein Drehratensignal Ω , und am Ausgang des dritten Reglers 94 kann ein zusammengesetztes Signal aus einem Quadraturbias B_θ und einer Beschleunigung A ermittelt werden. Der dritte Teil 64₃ des Regelsystems 64 30 weist einen ersten Regler 100, einen ersten Modulator 101, einen zweiten Regler 102, einen zweiten Modulator 103 und einen dritten Regler 104 auf. Weiterhin sind eine erste und eine zweite Addierstufe 105, 106 vorgesehen. Am Ausgang des ersten Reglers 100 kann ein Drehratensignal Ω mit negativem Vorzeichen abgegriffen werden, und am Ausgang des dritten Reglers 104 ein 35 zusammengesetzten Signal aus dem Quadraturbias B_θ mit negativem Vorzeichen und einem Beschleunigungssignal A. Die Funktionsweise des zweiten und dritten 40

Teils 64₂ und 64₃ entspricht der des in Fig. 2 gezeigten Elektronikmoduls 2 und wird deshalb hier nicht nochmals erläutert.

Nur die Signale für die Rückstellung der Drehrate und der Quadratur nach der Multiplikation mit der Arbeitsfrequenz werden zusammen mit den DC-Spannungen für den Quadratur-Hilfsregler auf ein zusammengefasstes Elektrodenpaar gegeben. Deshalb werden beide Signale addiert, so dass die Berechnung der Elektrodenspannungen die Rückstellsignale bei der Schwingfrequenz und das DC-Signal für die Quadraturregelung enthält. Die so berechneten Elektrodenspannungen Ux1/r, UyAo/u und UyBo/u werden dann zu den Trägerfrequenz-Signalen addiert und gemeinsam über die Analog/Digital-Umwandler 66₁ bis 66₈ auf die Elektroden gegeben.

Die oben beschriebenen Trägerfrequenzverfahren mit Gegentakterregung haben den Vorteil, dass an dem Verstärker 60 nur dann ein Signal anliegt, wenn die linearen Schwinger 3₁, 3₂ sowie 4₁ und 4₂ ausgelenkt sind. Die zur Erregung dienenden Frequenzsignale können diskrete Frequenzen oder rechteckige Signale sein. Wegen der leichteren Erzeugung und Verarbeitung werden Rechteckerregungen bevorzugt.

Im Folgenden sollen noch einige Betrachtungen zur Messgenauigkeit des erfindungsgemäßen Beschleunigungs-Messverfahrens gegeben werden.

Die Drehrate bewirkt eine Gegentakt-Auslenkung der Schwinger 4₁ und 4₂ bei der Arbeitsfrequenz des Corioliskreisels; dagegen bewirkt die Beschleunigung eine Gleichtakt-Auslenkung der Schwingen 4₁ und 4₂, wobei die Beschleunigung im Frequenzgebiet von 0 Hz bis ca. 500 Hz mit einer Messgenauigkeit von 50 mg bis 50 µg zu messen ist.

Die zu messende Auslenkung im Gleichtakt ergibt sich zu

$$\alpha = \frac{a}{\ell \cdot \omega^2}$$

α Auslenkungswinkel

a Beschleunigung

ℓ Länge der Feder

ω Eigenfrequenz der Schwingen 4₁ bis 4₂.

Für typische Eigenfrequenzen $\omega = 2 * \pi f = 6000 \text{ rad/s}$ bis 60000 rad/s und Federlängen $\ell = 1 \text{ mm}$ von Corioliskreiseln ergibt sich für eine Messgenauigkeit von z. B. 5 mg:

$$\alpha = 1.4 \cdot 10^{-6} \text{ bis } 1.4 \cdot 10^{-8} \text{ rad bzw. } x_2 = x_t = 1.4 \text{ nm bis } 14 \text{ pm.}$$

Solche geringen Auslenkungen lassen sich im Frequenzgebiet von 0 bis 500 Hz-Bereich schwer messen. Zumindest erfordert es einen elektronischen Zusatzaufwand für den erfundungsgemäßen Multisensor, weil die Elektronik sowohl im Arbeitsbereich der Kreiselfunktion (Drehratenmessung) von 1 bis 10 KHz als auch im Arbeitsbereich zur Messung der Beschleunigung von 0 bis 500 Hz sehr genau messen muss.

Dieser Nachteil lässt sich erfundungsgemäß dadurch vermeiden, dass man die oben beschriebenen Quadraturregelung für ein Massensystem aus zwei linearen Schwingern (Fig 1 und 2) auf das Massensystem aus vier linearen Schwingern (Fig. 3) anwendet: Die Beschleunigung verstimmt den Orthogonalitätsfehler, womit ein deutlich zu sehendes Gleichtakt-Quadratursignal bei der Arbeitsfrequenz in die Schwingen 4_1 und 4_2

$$\Omega_Q = \frac{a_Q}{a_s} \cdot \frac{\omega}{2} = \alpha \frac{\omega}{2}$$

Hierbei ist Ω_Q die Quadraturdrehrate, a_Q die Quadraturbeschleunigung und a_s die Schwingbeschleunigung.

Für eine Messgenauigkeit von z. B. 5 mg ($\alpha = 1.4 \cdot 10^{-8}$ rad) ergibt sich

$$\Omega_Q = 0,0042 \frac{\text{rad}}{\text{s}} = 0,25^\circ/\text{s} = 866^\circ/\text{h} \quad \text{bei einer Eigenfrequenz von } 1\text{kHz}$$

$$\Omega_Q = 4,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{rad}}{\text{s}} / 0,0025^\circ/\text{s} = 8,7^\circ/\text{h} \quad \text{bei einer Eigenfrequenz von } 10\text{kHz}$$

Für einen Drehratensensor von $5^\circ/\text{h}$ lässt sich mit Sicherheit mit gleicher Elektronik die Quadraturdrehrate von $866^\circ/\text{h}$ nachweisen, dagegen ist bei der Eigenfrequenz von 10 KHz mit der Quadraturdrehrate von $8,7^\circ/\text{h}$ die Nachweisgrenze des Drehratensensors von $5^\circ/\text{h}$ nahezu ausgeschöpft. Ob diese Messung auch langzeitstabil ist, hängt von der Langzeitstabilität der Quadraturdrehrate ab. Die eigentliche Quadraturdrehrate ist ein Gegentaktsignal. Deshalb hängt die Stabilität der Beschleunigungsmessung von der Differenz der Quadraturdrehraten von Schwingen 4_1 zu Schwingen 4_2 und deren Stabilität ab. Da beide Schwingen eng beieinander liegen und in einem Prozessschritt gefertigt werden, wird man voraussichtlich einen Bereich mit niedriger Genauigkeit von 50 mg bis 50 μg abdecken können.

Patentansprüche

1. Corioliskreisel (1'), mit einem ersten und einem zweiten Resonator (70₁, 70₂), die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwingern (3₁, 3₂, 4₁, 4₂) ausgestaltet sind, wobei der erste Resonator (70₁) mit dem zweiten Resonator (70₂) mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse (72) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbare sind.
2. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators (70₁, 70₂) identisch sind, wobei die Resonatoren (70₁, 70₂) achsensymmetrisch zueinander angeordnet sind bezüglich einer Symmetriearchse (73), die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungsachse (72) steht.
3. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die ersten Schwingen (3₁, 3₂) jeweils durch erste Federelemente (5₁ - 5₈) mit einem Kreiselrahmen (7₁ - 7₁₄) des Corioliskreisels verbunden, und die zweiten Schwingen (4₁, 4₂) durch zweite Federelemente (6₁ - 6₄) jeweils mit einem der ersten Schwingen (3₁, 3₂) verbunden sind.
4. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die zweiten Schwingen (4₁, 4₂) an den ersten Schwingen (3₁, 3₂) durch die zweiten Federelemente (6₁ - 6₄) einseitig befestigt/eingespannt sind und/oder die ersten Schwingen (3₁, 3₂) an einem Kreiselrahmen des Corioliskreisels durch die ersten Federelemente (5₁ - 5₈) einseitig befestigt/eingespannt sind.
5. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet durch eine Einrichtung zur Erzeugung elektrostatischer Felder, durch die ein Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente (5₁ - 5₈) bezüglich des Kreiselrahmens änderbar und/oder ein Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente (6₁ - 6₄) bezüglich der ersten Schwingen (3₁, 3₂) änderbar ist.
6. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 5, gekennzeichnet durch
 - eine Einrichtung (10₁ - 10₈, 11₁ - 11₄), mit der erste Signale für Drehrate und Quadraturbias, die innerhalb des ersten Resonators (70₁) auftreten, und zweite Signale für Drehrate und Quadraturbias, die innerhalb des zweiten Resonators (70₂) auftreten, ermittelbar sind,
 - Regelkreise (60 - 67), durch die die Ausrichtung/Stärke der elektrostatischen Felder so geregelt wird, dass der erste und der zweite Quadraturbias jeweils möglichst klein wird, und

- eine Recheneinheit, die aus den ersten und zweiten Signalen die Drehrate ermittelt und aus einem Gleichtaktanteil der elektrostatischen Felder, die den ersten und zweiten Quadraturbias kompensieren, die zu messende Beschleunigung ermittelt.

5

7. Verfahren zur wahlweisen oder gleichzeitigen Messung von Drehraten und Beschleunigungen unter Verwendung eines Drehraten-Corioliskreisels (1'), der einen ersten und einen zweiten Resonator (70₁, 70₂) aufweist, die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Schwinger (3₁, 10 3₂, 4₁, 4₂) ausgestaltet sind, wobei die Drehraten durch Abgriff und Auswertung der Auslenkungen der zweiten Schwinger (4₁, 4₂) bestimmt werden, mit den folgenden Schritten:

- Versetzen der beiden Resonatoren (70₁, 70₂) in zueinander gegentaktige Schwingungen entlang einer gemeinsamen Schwingungsachse (72),

15 - Vergleichen der Auslenkungen der zweiten Schwinger (4₁, 4₂) untereinander, um einen Gegentakt-Auslenkungsanteil, der ein Maß für die zu messende Drehrate ist, und/oder einen gemeinsamen Gleichtakt-Auslenkungsanteil, der ein Maß für die zu messenden Beschleunigung ist, zu ermitteln,

20 - Berechnen der zu messenden Drehrate/Beschleunigung aus dem Gegentakt-Auslenkungsanteil/Gleichtakt-Auslenkungsanteil.

8. Verfahren nach Anspruch 7,

dadurch gekennzeichnet, dass der gemeinsame Gleichtakt-Auslenkungsanteil wie 25 folgt ermittelt wird:

- Bestimmen eines ersten Quadraturbias, der innerhalb des ersten Resonators (70₁) auftritt,

- Bestimmen eines zweiten Quadraturbias, der innerhalb des zweiten Resonators (70₂) auftritt,

30 - Verrechnen des ersten Quadraturbias mit dem zweiten Quadraturbias, um einen gemeinsamen Quadraturbiasanteil zu bestimmen, der der zu messenden Beschleunigung proportional ist und den gemeinsamen Gleichtakt-Auslenkungsanteil darstellt.

35 9. Verfahren nach Anspruch 8,

dadurch gekennzeichnet, dass elektrostatische Felder zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der ersten und zweiten Schwinger (3₁, 3₂, 4₁, 4₂) erzeugt werden, wobei die Ausrichtung/Stärke der elektrostatischen Felder so geregelt wird, dass der erste und der zweite Quadraturbias jeweils möglichst klein 40 wird.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 10. Mai 2005 (10.05.05) eingegangen ; ursprüngliche Ansprüche 1-9 durch neue Ansprüche 1-4 ersetzt (2 Seiten).]

Neue Patentansprüche

1. Corioliskreisel (1'), mit einem ersten und einem zweiten Resonator (70₁, 70₂), die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Swinger (3₁, 3₂, 4₁, 4₂) ausgestaltet sind, wobei der erste Resonator (70₁) mit dem zweiten Resonator (70₂) mechanisch/elektrostatisch so verbunden/gekoppelt ist, dass beide Resonatoren entlang einer gemeinsamen Schwingungssachse (72) gegentaktig zueinander in Schwingung versetzbare sind, wobei die ersten Swingers (3₁, 3₂) jeweils durch erste Federelemente (5₁ - 5₈) mit einem Kreiselrahmen (7₁ - 7₁₄) des Corioliskreisels verbunden, und die zweiten Swingers (4₁, 4₂) durch zweite Federelemente (6₁ - 6₄) jeweils mit einem der ersten Swingers (3₁, 3₂) verbunden sind, und der Corioliskreisel ferner aufweist:
 - eine Einrichtung zur Erzeugung elektrostatischer Felder, durch die ein Ausrichtungswinkel der ersten Federelemente (5₁ - 5₈) bezüglich des Kreiselrahmens änderbar und/oder ein Ausrichtungswinkel der zweiten Federelemente (6₁ - 6₄) bezüglich der ersten Swingers (3₁, 3₂) änderbar ist,
 - eine Einrichtung (10₁ - 10₈, 11₁ - 11₄), mit der erste Signale für Drehrate und Quadraturbias, die innerhalb des ersten Resonators (70₁) auftreten, und zweite Signale für Drehrate und Quadraturbias, die innerhalb des zweiten Resonators (70₂) auftreten, ermittelbar sind,
 - Regelkreise (60 - 67), durch die die Ausrichtungen/Stärken der elektrostatischen Felder so geregelt werden, dass der erste und der zweite Quadraturbias jeweils möglichst klein werden, und
 - eine Recheneinheit, die aus den ersten und zweiten Signalen die Drehrate ermittelt und aus einem Gleichtaktanteil der elektrostatischen Felder, die den ersten und zweiten Quadraturbias kompensieren, die zu messende Beschleunigung ermittelt.
2. Corioliskreisel (1') nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Ausgestaltungen des ersten und des zweiten Resonators (70₁, 70₂) identisch sind, wobei die Resonatoren (70₁, 70₂) achsensymmetrisch zueinander angeordnet sind bezüglich einer Symmetrieachse (73), die senkrecht auf der gemeinsamen Schwingungssachse (72) steht.
3. Verfahren zur wahlweisen oder gleichzeitigen Messung von Drehraten und Beschleunigungen unter Verwendung eines Drehraten-Corioliskreisels (1'), der einen ersten und einen zweiten Resonator (70₁, 70₂) aufweist, die jeweils als gekoppeltes System aus einem ersten und einem zweiten linearen Swinger (3₁, 3₂, 4₁, 4₂) ausgestaltet sind, wobei die Drehraten und Beschleunigungen durch Abgriff und Auswertung der Auslenkungen der zweiten Swingers (4₁, 4₂) bestimmt werden,
 mit den folgenden Schritten:
 - Versetzen der beiden Resonatoren (70₁, 70₂) in zueinander gegentaktige Schwingungen entlang einer gemeinsamen Schwingungssachse (72),
 - Vergleichen der Auslenkungen der zweiten Swingers (4₁, 4₂) untereinander, um einen Gegentakt-Auslenkungsanteil, der ein Maß für die zu messende Drehrate ist,

-22-

und/oder einen gemeinsamen Gleichtakt-Auslenkungsanteil, der ein Maß für die zu messenden Beschleunigung ist, zu ermitteln,

- Berechnen der zu messenden Drehrate/Beschleunigung aus dem Gegentakt-Auslenkungsanteil/Gleichtakt-Auslenkungsanteil, wobei der gemeinsame Gleichtakt-Auslenkungsanteil wie folgt ermittelt wird:

5 - Bestimmen eines ersten Quadraturbias, der innerhalb des ersten Resonators (70₁) auftritt,

- Bestimmen eines zweiten Quadraturbias, der innerhalb des zweiten Resonators (70₂) auftritt,

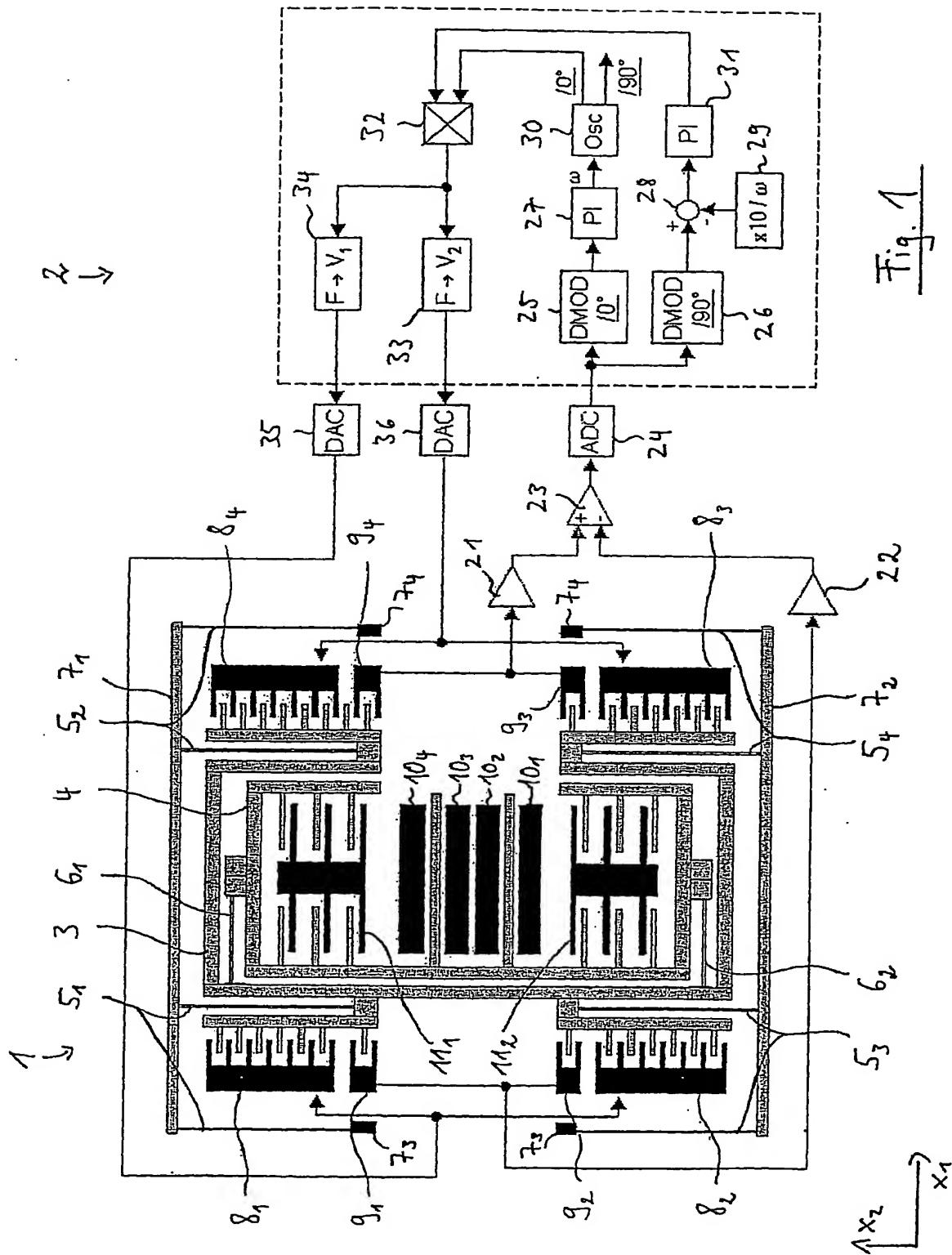
10 - Verrechnen des ersten Quadraturbias mit dem zweiten Quadraturbias, um einen gemeinsamen Quadraturbiasanteil zu bestimmen, der der zu messenden Beschleunigung proportional ist und den gemeinsamen Gleichtakt-Auslenkungsanteil darstellt.

4. Verfahren nach Anspruch 3,

15 dadurch gekennzeichnet, dass elektrostatische Felder zur Änderung der gegenseitigen Ausrichtung der ersten und zweiten Swinger (3₁, 3₂, 4₁, 4₂) erzeugt werden, wobei die Ausrichtung/Stärke der elektrostatischen Felder so geregelt wird, dass der erste und der zweite Quadraturbias jeweils möglichst klein wird.

GEÄNDERTES BLATT (ARTIKEL 19)

1/4



2/4

Fig. 2

2 →

1 →

51

52

53

54

55

56

57

58

59

50

48

49

46

47

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

40

49

48

47

46

45

44

43

42

41

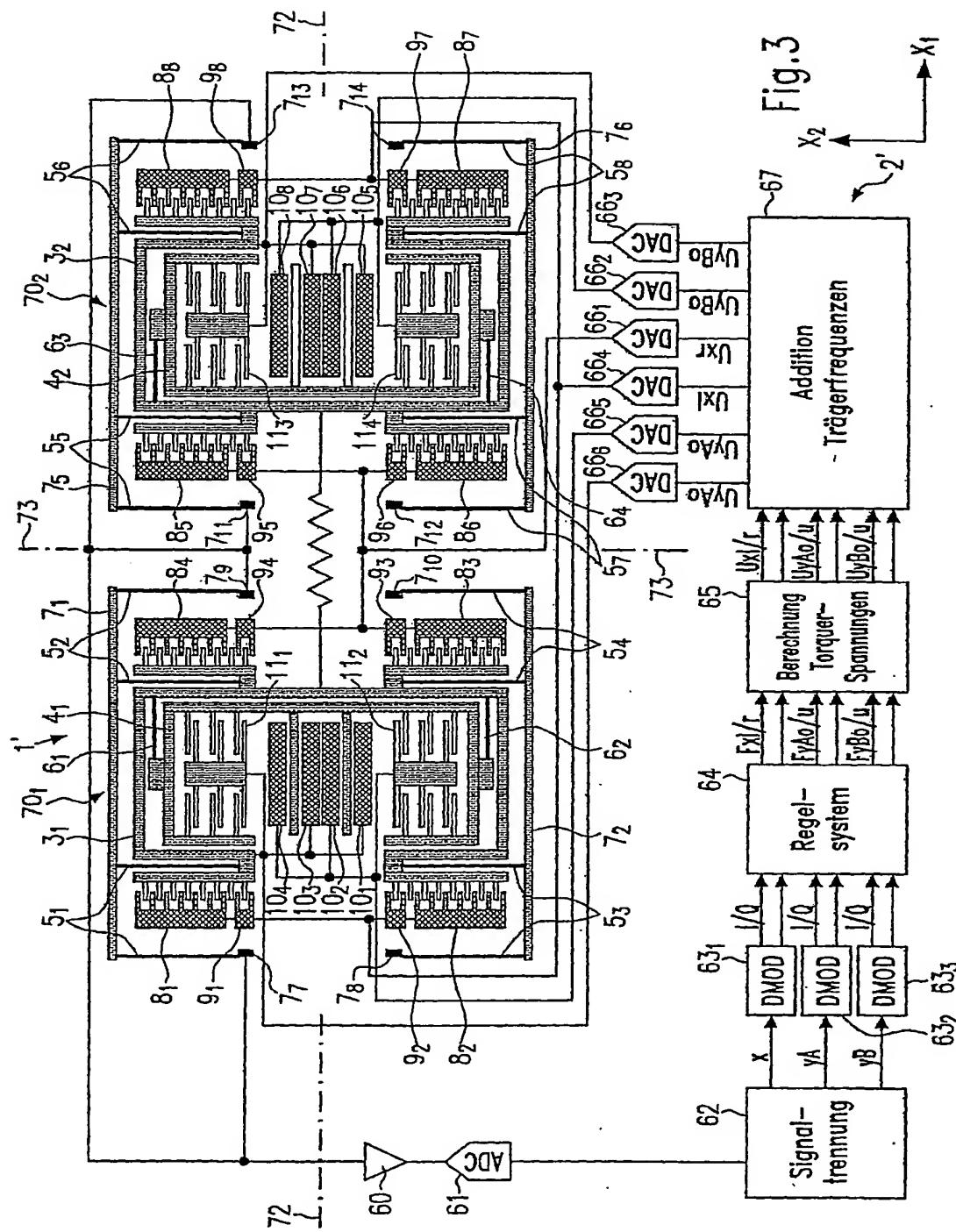
40

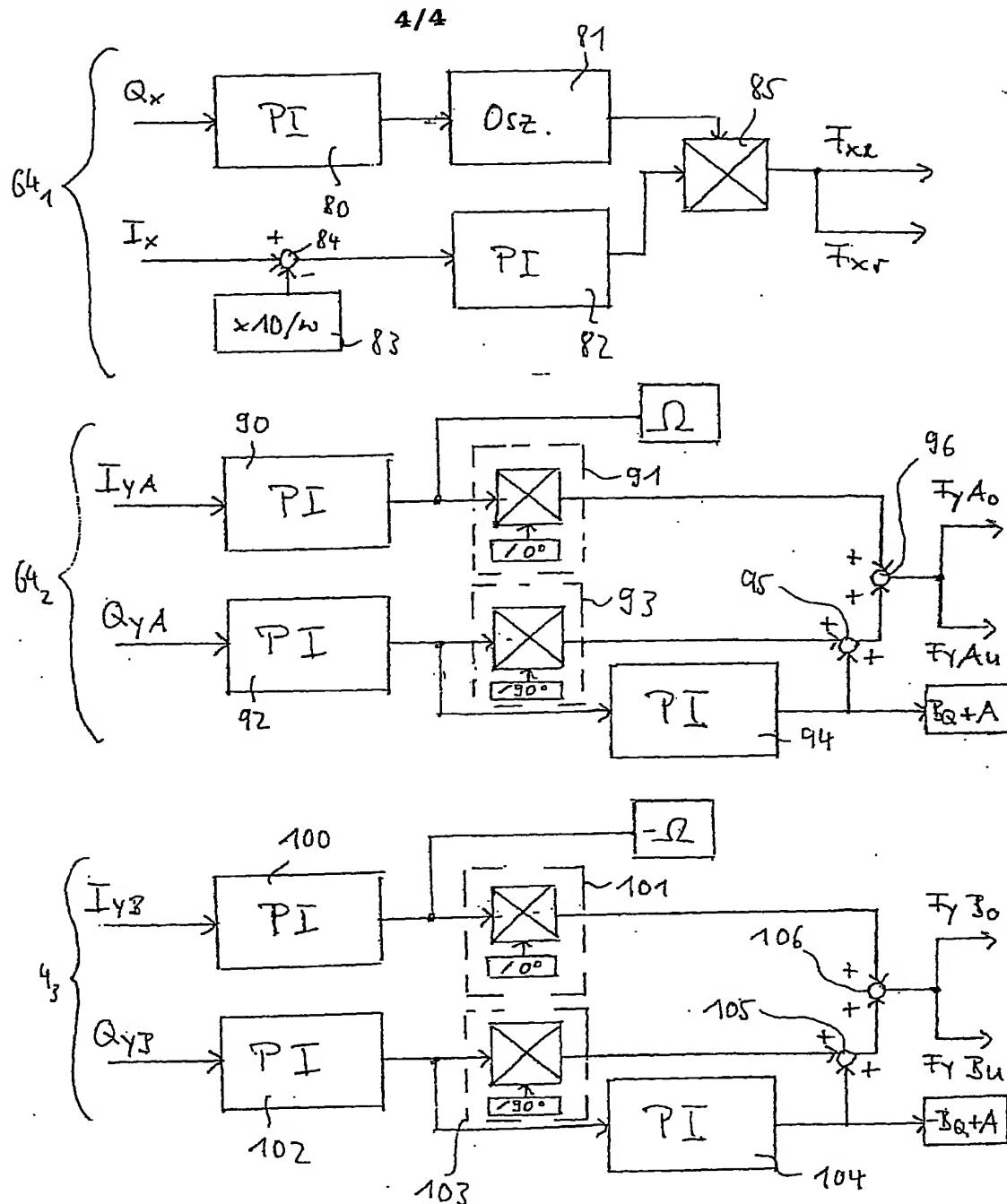
49

48

47

3/4



Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/013446

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G01C19/56		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 G01C		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 02/16871 A (HAHN-SCHICKARD GESELLSCHAFT FUER ANGEWANDTE FORSCHUNG E.V; GEIGER, WOL) 28 February 2002 (2002-02-28) page 14, line 25 – page 15, line 21; figure 3 page 15, line 36 – page 16, line 26; figures 4,5	1-3, 7
Y	DE 44 42 033 A1 (ROBERT BOSCH GMBH, 70469 STUTTGART, DE) 30 May 1996 (1996-05-30) column 1, line 66 – column 2, line 27; figure 1 column 3, line 9 – line 30; claim 5; figure 3	5
X		1-3, 7
Y		5
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.		<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.
<p>* Special categories of cited documents :</p> <p>'A' document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>'E' earlier document but published on or after the International filing date</p> <p>'L' document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>'O' document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>'P' document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>'T' later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>'X' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>'Y' document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>'&' document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the International search		Date of mailing of the International search report
17 February 2005		11/03/2005
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Authorized officer Jakob, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2004/013446

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 02/066927 A (ROBERT BOSCH GMBH; WILLIG, RAINER; THOMAE, ANDREAS; KUHLMANN, BURKHARD) 29 August 2002 (2002-08-29) page 3, line 9 - line 28 page 4, line 20 - page 5, line 14; figure 1 page 10, line 25 - line 30	1-3,7
X	EP 1 253 399 A (STMICROELECTRONICS S.R.L.) 30 October 2002 (2002-10-30)	1-3,7
Y	paragraph '0012! - paragraph '0019! paragraph '0023!; figure 1	5
Y	GEIGER W ET AL: "New designs of micromachined vibrating rate gyroscopes with decoupled oscillation modes" 1997 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS. DIGEST OF TECHNICAL PAPERS. TRANSDUCERS 97. CHICAGO, IL, JUNE 16 - 19, 1997. SESSIONS 3A1 - 4D3. PAPERS NO. 3A1.01 - 4D3.14P, vol. VOL. 2, 16 June 1997 (1997-06-16), pages 1129-1132, XP010240677 ISBN: 0-7803-3829-4	5
A	page 1130, left-hand column, last paragraph - right-hand column, paragraph 1; figure 4	9
Y	WO 03/014669 A (THE BOEING COMPANY) 20 February 2003 (2003-02-20)	5
A	page 9, line 14 - line 23; figure 5	6,8
A	DE 101 07 327 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 23 August 2001 (2001-08-23) column 16, line 10 - line 15; figure 12	6,8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/EP2004/013446

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
WO 0216871	A 28-02-2002	DE AU WO EP	10040418 A1 8209501 A 0216871 A1 1309834 A1		07-03-2002 04-03-2002 28-02-2002 14-05-2003
DE 4442033	A1 30-05-1996	JP US	8220125 A 5604312 A		30-08-1996 18-02-1997
WO 02066927	A 29-08-2002	DE WO EP JP US	10108198 A1 02066927 A1 1364184 A1 2004518969 T 2003183007 A1		12-09-2002 29-08-2002 26-11-2003 24-06-2004 02-10-2003
EP 1253399	A 30-10-2002	EP US US	1253399 A1 2002189354 A1 2004035204 A1		30-10-2002 19-12-2002 26-02-2004
WO 03014669	A 20-02-2003	US EP WO US	2003033850 A1 1421331 A2 03014669 A2 2004237626 A1		20-02-2003 26-05-2004 20-02-2003 02-12-2004
DE 10107327	A1 23-08-2001	JP US	2001304872 A 2001015101 A1		31-10-2001 23-08-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/013446

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 G01C19/56		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBiete Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 G01C		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
<input checked="" type="checkbox"/> X	WO 02/16871 A (HAHN-SCHICKARD GESELLSCHAFT FUER ANGEWANDTE FORSCHUNG E.V.; GEIGER, WOL) 28. Februar 2002 (2002-02-28) Seite 14, Zeile 25 – Seite 15, Zeile 21; Abbildung 3 Seite 15, Zeile 36 – Seite 16, Zeile 26; Abbildungen 4,5	1-3,7
<input checked="" type="checkbox"/> Y	DE 44 42 033 A1 (ROBERT BOSCH GMBH, 70469 STUTTGART, DE) 30. Mai 1996 (1996-05-30) Spalte 1, Zeile 66 – Spalte 2, Zeile 27; Abbildung 1 Spalte 3, Zeile 9 – Zeile 30; Anspruch 5; Abbildung 3	5
	----- -----	1-3,7
<input checked="" type="checkbox"/> Y	----- -----	5
	----- -----	-/-
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <ul style="list-style-type: none"> *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmelde datum veröffentlicht worden ist! *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmelde datum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist 		
<p>*T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmelde datum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist</p> <p>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>*&* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche		Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts
17. Februar 2005		11/03/2005
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Jakob, C

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/013446

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 02/066927 A (ROBERT BOSCH GMBH; WILLIG, RAINER; THOMAE, ANDREAS; KUHLMANN, BURKHARD) 29. August 2002 (2002-08-29) Seite 3, Zeile 9 - Zeile 28 Seite 4, Zeile 20 - Seite 5, Zeile 14; Abbildung 1 Seite 10, Zeile 25 - Zeile 30	1-3,7
X	EP 1 253 399 A (STMICROELECTRONICS S.R.L.) 30. Oktober 2002 (2002-10-30)	1-3,7
Y	Absatz '0012! - Absatz '0019! Absatz '0023!; Abbildung 1	5
Y	GEIGER W ET AL: "New designs of micromachined vibrating rate gyroscopes with decoupled oscillation modes" 1997 INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOLID-STATE SENSORS AND ACTUATORS. DIGEST OF TECHNICAL PAPERS. TRANSDUCERS 97. CHICAGO, IL, JUNE 16 - 19, 1997. SESSIONS 3A1 - 4D3. PAPERS NO. 3A1.01 - 4D3.14P, Bd. VOL. 2, 16. Juni 1997 (1997-06-16), Seiten 1129-1132, XP010240677 ISBN: 0-7803-3829-4	5
A	Seite 1130, linke Spalte, letzter Absatz - rechte Spalte, Absatz 1; Abbildung 4	9
Y	WO 03/014669 A (THE BOEING COMPANY) 20. Februar 2003 (2003-02-20)	5
A	Seite 9, Zeile 14 - Zeile 23; Abbildung 5	6,8
A	DE 101 07 327 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 23. August 2001 (2001-08-23) Spalte 16, Zeile 10 - Zeile 15; Abbildung 12	6,8

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2004/013446

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0216871 A	28-02-2002	DE 10040418 A1 AU 8209501 A WO 0216871 A1 EP 1309834 A1	07-03-2002 04-03-2002 28-02-2002 14-05-2003
DE 4442033 A1	30-05-1996	JP 8220125 A US 5604312 A	30-08-1996 18-02-1997
WO 02066927 A	29-08-2002	DE 10108198 A1 WO 02066927 A1 EP 1364184 A1 JP 2004518969 T US 2003183007 A1	12-09-2002 29-08-2002 26-11-2003 24-06-2004 02-10-2003
EP 1253399 A	30-10-2002	EP 1253399 A1 US 2002189354 A1 US 2004035204 A1	30-10-2002 19-12-2002 26-02-2004
WO 03014669 A	20-02-2003	US 2003033850 A1 EP 1421331 A2 WO 03014669 A2 US 2004237626 A1	20-02-2003 26-05-2004 20-02-2003 02-12-2004
DE 10107327 A1	23-08-2001	JP 2001304872 A US 2001015101 A1	31-10-2001 23-08-2001